

(2) Japanese Patent Laid-Open Gazette No. P8-31994:

"IMAGING APPARATUS"

Preferred Embodiment

Fig. 1 shows a structure of one of preferred embodiments according to the present invention.

In Fig. 1, the reference character 9 indicates an image pickup element, and a video signal in one display is read out in accordance with an output pulse of a read-out pulse generator 10. The reference character 11 indicates an amplifier circuit having the AGC function, which amplifies an output signal of the image pickup element 9. The reference characters 12, 13 and 14 indicate an A/D converter, an image memory, a D/A converter, respectively. The image memory 13 is connected to the rear step of the amplifier circuit 11. The reference character 17 indicates an image memory driving portion, and a video signal amplified in the amplifier circuit 11 in accordance with an output pulse of the image memory driving portion 17 is written in and read out from the image memory 13. The reference characters 15 and 18 indicate a switch and an AGC detecting circuit, respectively. As the AGC detecting circuit 18, an integral circuit is used for example. The amplifier circuit 11 and the AGC detecting circuit 18 form a closed loop when the switch 15 is provided on the upper side, while the amplifier circuit 11, image memory 13 and the AGC detecting circuit 18 form a closed loop when the switch 15 is provided on the lower side. The reference character 19 indicates a comparison circuit, which compares an output of the AGC detecting circuit 18 with a reference voltage. The reference character 20 indicates a control circuit, which is consisted of a microcomputer, for instance. The reference character 16 indicates a video signal output.

Next, operations of the above preferred embodiment will be described. With respect to a bright subject, the switch 15 is arranged on the upper side (i.e., normal side) since it is possible to amplify a video signal outputted from the image pickup element 9 by the amplifier circuit 11 and to control the video signal output 16 to a certain level. The level of a signal amplified by the amplifier circuit 11 is detected by the AGC detecting circuit

18. Based on the detection result, the gain of the amplifier circuit 11 is controlled so that the video signal output 16 is maintained to a certain level.

However, when the illumination of an object decreases and the gain of the amplifier circuit 11 reaches the maximum, the information as to lack of sensitivity is obtained by means of the comparator 19 based on the output of the AGC detecting circuit 18 and it is transferred to the control circuit 20. The control circuit 20 controls the output pulse of the read-out pulse generator 10 and lengthens the charge storage time at the image pickup element 9 twice as long, for instance. The control circuit also controls the memory driving circuit 17 to have the image memory 13 write and read an intermittent signal obtained by a long storage. Moreover, the control circuit 20 controls the switch 15 to be switched to the lower side (to increase sensitivity). Then, the AGC detecting circuit 18 detects the level based on the video signal interpolated by the image signal 13 and controls the gain of the amplifier circuit 11 to maintain the video signal output 16 to a certain level at all times.

When the illumination of an object further decreases and the gain of the amplifier circuit 11 reaches the maximum, the control circuit 20 controls the output pulse of the read-out pulse generator 10 based on the information from the comparator 19 to lengthen the charge storage time at the image pickup element 9 four times as long, for instance.

Further, when the illumination of an object increases and the gain of the amplifier circuit 11 reaches the minimum, the control circuit 20 controls the output pulse of the read-out pulse generator 10 based on the information from the comparator 19 to shorten the charge storage time from four times as long to twice, for instance.

In this way, according to the above embodiment, the charge storage time, i.e., a multiplying factor for increasing sensitivity is automatically controlled in accordance with the illumination of an object; moreover, the video signal output level is maintained to a certain level at all times.

(3) "AMPLIFIER-TYPE SOLID-STATE IMAGE PICKUP ELEMENT"

1. Introduction

In the genesis period of solid-state image pickup elements, an amplifier-type one was testified by which a phototransistor was used in place of a photodiode so that it was arranged in a matrix form in a pair with a MOS switch for selection to make an area sensor. Afterwards, however, the method has been rarely taken notice of because of the appearance of the CCD with low noise and advantageous sensitivity. Development of amplifier-type solid-state image pickup elements has been undertaken in these several years, which is gradually growing popular. As its background, it is pointed out that the need of image pickup elements in a special manner which is difficult to handle by CCD has been appeared. Image pickup elements for use in high-vision cameras and cameras having many numbers of flames are the representative examples. On the other hand, it would be true that one of big driving forces for developing amplifier-type solid-state image pickup elements is the fact that the pixel output ununiformity which is the most important theme in amplifier-type solid-state image pickup elements has been reduced to a great extent according to the rapid development in the semiconductor fine pattern technology. Among amplifier-type solid-state image pickup elements, the reference will be made in the following only to one formed by combination of a photoelectric converting portion without amplification function and an amplifier transistor in each pixel. The method for providing the multiplying function for a photoelectric converting portion is an interesting field, however, there are still only a few examples and it seems to be a field to be explored from now on. With respect to a case of developing an area sensor among amplifier-type solid-state image pickup elements, description will be made as to outline of elements, features and subjects in order.

3.2 Utilization of non-destructive read-out function

An amplifier-type solid-state image pickup element reads out a photoelectric charge through an amplifier transistor, so that a photoelectric charge is stored unless reset operation is carried out. It is worth using when picking up a static image with slight illumination. A long integrating operation (time nT_0) in an element which is used for the astronomical

observation or special purposes will be compared to n times non-destructive read-out (period T_0). In the case where non-destructive read-out is carried out n times to perform signal addition, the SN ratio is improved by about 9dB compared to the case of integration for 1 second ($n=33$), for instance. This applies to the case where noise at read-out is the main factor of the occurrence of noise, however, there is no improved effect found when a photoelectric charge or dark charge shot noise are the main factor. It seems that some applied fields of non-destructive read-out function can be devised for image processing, for example.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許出願公告番号

特公平8-31994

(24) (44) 公告日 平成8年(1996) 3月27日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 4 N 5/335

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

Q

請求項の数 1 (全 4 頁)

(21) 出願番号 特願平1-218781
(22) 出願日 平成1年(1989) 8月25日
(65) 公開番号 特開平3-82283
(43) 公開日 平成3年(1991) 4月8日

(71) 出願人 999999999
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(72) 発明者 三村 栄年
神奈川県横浜市港北区綱島東4丁目3番1
号 松下通信工業株式会社内
(72) 発明者 増田 恒
神奈川県横浜市港北区綱島東4丁目3番1
号 松下通信工業株式会社内
(72) 発明者 林 敏彦
神奈川県横浜市港北区綱島東4丁目3番1
号 松下通信工業株式会社内
(74) 代理人 弁理士 滝本 智之

審査官 関谷 隆一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 撮像装置

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】電荷蓄積時間可変の撮像手段と、前記撮像手段の出力を任意のレベルに増幅する増幅手段と、前記増幅手段の出力を記憶する画像メモリと、前記増幅手段の出力または前記画像メモリの出力を選択する選択手段と、前記選択手段の出力レベルを検出する出力レベル検出手段と、前記出力レベル検出手段の出力と任意の基準レベルとを比較する比較手段と、前記比較手段による比較結果に応じて上記撮像手段の電荷蓄積時間、前記画像メモリの書き込み読み出し、前記選択手段を制御する制御手段とを具備し、被写体の照度変化に応じて前記撮像手段の電荷蓄積時間を自動的に制御し、映像信号が常に一定レベルで得られることを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

産業上の利用分野

2

本発明は固体撮像素子を用いた撮像装置に関し、被写体の照度変化に対して自動的に撮像素子の電荷蓄積時間を制御し、常に一定レベルの映像信号が得られる撮像装置を提供するものである。

従来の技術

従来のこの種の撮像装置は、例えば、第2図に示すように、固体撮像素子1、読み出しパルス発生器2、切換スイッチ3、A/Dコンバータ5、画像メモリ6、D/Aコンバータ7、コントロール回路8を備えており、コントロール回路8を操作することによって固体撮像素子のフォトダイオードの蓄積時間を長くし、低照度時の感度を上昇することができるように構成されている(特開昭63-256069号公報)。

次に、上記従来例の動作を図面を参照しながら説明する。固体撮像素子1は読み出しパルス発生器2の出力で

ある読み出しパルスに応じて、1画面の映像信号が読み出される。固体撮像素子1から読み出された映像信号は、切換スイッチ3のa端子を介して出力端子4に導かれるとともに、A/Dコンバータ5に導かれる。画像メモリ6は前記A/Dコンバータ5の出力を記憶するためのものであり、その読み出し出力はD/Aコンバータ7を介して前記切換スイッチ3の6端子に印加される。

この従来例において、コントロール回路8を操作して、例えば4フィールド毎に読み出す場合、前記コントロール回路8からの出力に同期して読み出しパルス発生器2より4フィールド毎に読み出しパルスが出力され、第3図aに示すように4フィールド毎に1フィールドの映像信号が出力される。この映像信号は画像メモリ6に記憶され、次の3フィールド期間は、その記憶された映像信号が繰返し読み出される。

切換スイッチ3は、前記撮像素子1からの映像信号がある1フィールド期間はa端子側に、次の3フィールド期間はb端子側に接続されるように切換えられ、出力端子4には第3図bに示すように、同一の映像信号が4フィールド繰返される連続した映像信号が得られるものである。

上記構成によれば、固体撮像素子1のフォトダイオードの蓄積時間が長くなり、感度が上がる。

発明が解決しようとする課題

しかしながら、上記従来の撮像装置では、人間がビデオカメラより得られた画像を見ながら判断してコントロール回路の操作を行い、固体撮像素子の電荷蓄積時間を制御して映像信号が一定になるようにしていたため、被写体を撮影すること以外にビデオカメラの操作者に負担がかかったり、監視等の目的で高所や離れた場所に設置されたビデオカメラでは遠隔操作で前記操作を行わなければならないなど実用的でないという問題があった。

本発明はこのような従来の問題を解決するものであり、自動的に被写体の照度に応じて撮像素子の電荷蓄積時間を制御し一定レベルの映像信号が得られる優れた撮像装置を提供することを目的とするものである。

課題を解決するための手段

本発明は上記目的を達成するために電荷蓄積時間可変の撮像手段と、この撮像手段の出力を任意のレベルに増幅する増幅手段と、この増幅手段の出力を記憶する画像メモリと、増幅手段の出力または画像メモリの出力を選択する選択手段と、この選択手段の出力レベルを検出する出力レベル検出手段と、この出力レベル検出手段の出力と任意の基準レベルとを比較する比較手段と、この比較手段の比較結果に応じて、撮像手段の電荷蓄積時間、画像メモリの書込み読出し、選択手段を制御する制御手段とを具備することを特徴とする。

作用

本発明は上記のような構成であり、明るい被写体に対しては、撮像手段より出力された映像信号が増幅手段で

増幅され、この増幅手段の出力を選択するよう設定された選択手段を通り、出力レベル検出手段を経て増幅手段に帰還し一定レベルの映像信号を得る。被写体照度の低下に従って増幅手段の出力レベルが低下し、これを出力レベル検出手段及び比較手段によって検出し、電荷蓄積時間を長く設定するよう制御手段に伝える。制御手段は電荷蓄積時間の設定と切換タイミング、さらに画像メモリへの書込み読出しの駆動制御、当該画像メモリの出力の選択と切換タイミングを制御する。長時間蓄積によって撮像手段から得られた間欠信号は、増幅手段で増幅され画像メモリで補間された後、選択手段で選択され出力レベル検出回路を経て増幅手段に帰還し一定レベルの映像信号を得る。

さらに被写体照度の低下に従って上記の動作を繰り返し、一定レベルの映像信号を得る。

被写体照度が上昇した場合には、出力レベル検出回路及び比較手段によって、電荷蓄積時間を短く設定するよう制御手段に伝え、上記の動作を繰り返すことによって、一定レベルの映像信号を得る。このように被写体の照度変化に応じて、電荷蓄積時間を自動的に制御し、映像信号が常に一定レベルで得ることができる。

実施例

第1図は本発明の一実施例の構成を示している。

第1図において、9は撮像素子であり、読出しパルス発生器10の出力パルスに応じて1画面の映像信号が読出される。11はAGC機能を有する増幅回路であり、撮像素子9の出力信号を増幅する。12はA/Dコンバータ、13は画像メモリ、14はD/Aコンバータであり、画像メモリ13は増幅回路11の後段に接続されている。17は画像メモリ駆動部で、その出力パルスに応じて増幅回路11で増幅された映像信号が画像メモリ13に書込まれ読み出される。15はスイッチ、18はAGC検出回路であり、このAGC検出回路18としては例えば積分回路が使用される。スイッチ15を上側に設定すれば、増幅回路11とAGC検出回路18の閉ループが構成され、スイッチ15を下側に設定すれば、増幅回路11と画像メモリ13とAGC検出回路18との閉ループが構成される。19は比較回路で、AGC検出回路18の出力を基準電圧と比較する。20はコントロール回路であり、このコントロール回路20は例えばマイクロコンピュータで構成される。16は映像信号出力である。

次に上記実施例の動作について説明する。明るい写体に対しては、撮像素子9より出力された映像信号を増幅回路11により増幅し、映像信号出力16を一定レベルに制御することができるため、スイッチ15は上側（ノーマル側）になっている。増幅回路11によって増幅された信号はAGC検出回路18によってレベルが検出され、その結果に基づき増幅回路11の利得を制御し、映像信号出力16を常に一定のレベルに保つ。

しかし、被写体照度が下がりAGC回路11の利得が最大に達した場合、AGC検出回路18の出力をもとに比較器19

5

によって感度不足の情報を得、コントロール回路20に伝える。コントロール回路20は10の読出しパルス発生器の出力パルスを制御し、撮像素子9における電荷蓄積時間を例えば2倍に長くするとともに、メモリ駆動回路17を制御し画像メモリ13に長時間蓄積で得た間欠信号の書き込み、読出しをさせる。さらにコントロール回路20はスイッチ15を下側（感度アップ）に切換えるよう制御する。その後は画像メモリ13によって補間された映像信号をもとに、AGC検出回路18がレベルを検出し、増幅回路11のゲインを制御して、映像信号出力16を常に一定のレベルに保つ。

さらに被写体照度が下がり増幅回路11のゲインが最大に達した場合、比較器19の情報によりコントロール回路20が読出しパルス発生器10の出力パルスを制御し、撮像素子9における電荷蓄積時間を例えば4倍に長くする。

また被写体照度が上がり増幅回路11の利得が最小に達した場合、比較器19の情報によりコントロール回路20が読出しパルス発生器10の出力パルスを制御し、電荷蓄積時間を例えば4倍から2倍に短くする。

6

このようにして、上記実施例によれば、被写体の照度に応じて電荷蓄積時間すなわち感度アップの倍率が自動的に制御され、かつ常に一定の映像信号出力レベルを保つことができる。

発明の効果

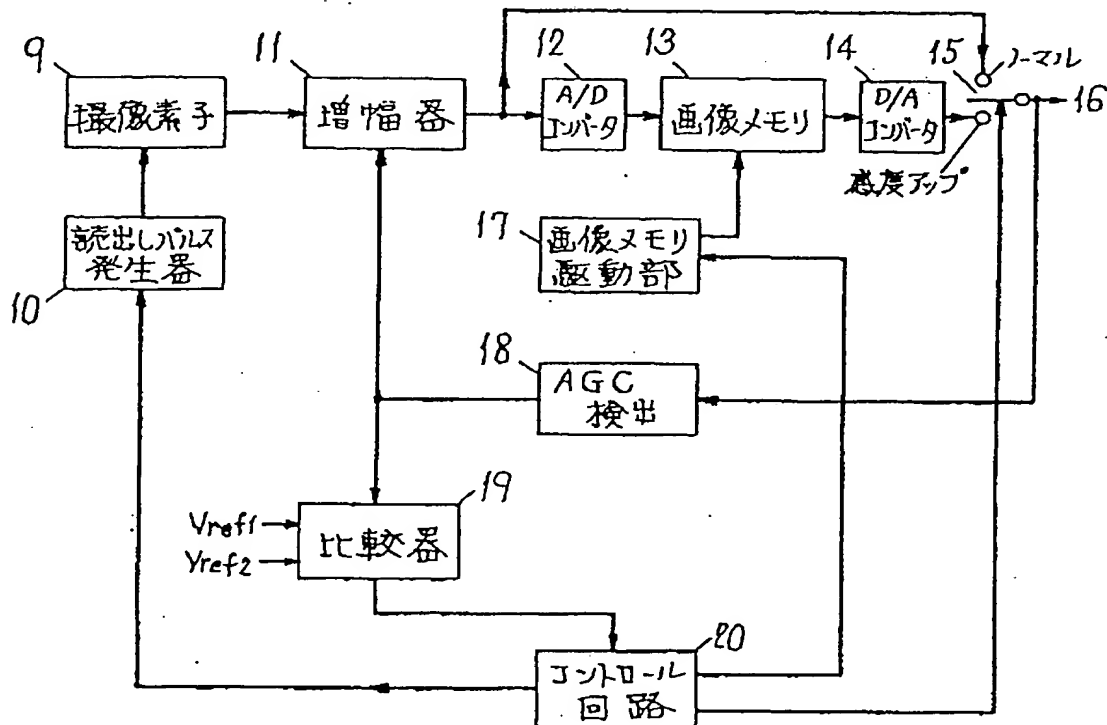
本発明は、上記実施例より明らかなように、感度アップの倍率、増幅回路のゲインを自動的に制御することができるものであり、被写体の照度に応じて、常に一定の映像信号レベルが得られるという利点を有する。

【図面の簡単な説明】

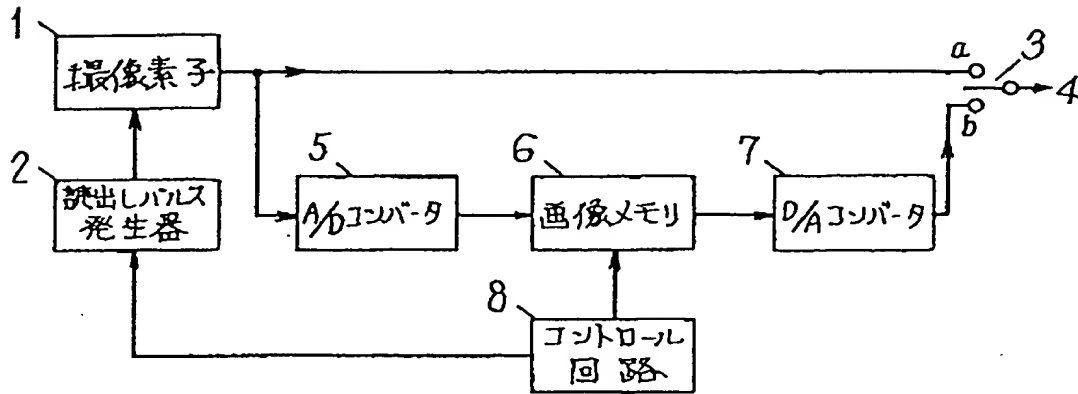
第1図は本発明の一実施例における撮像装置のブロック図、第2図は従来の撮像装置のブロック図、第3図a, bは同装置の動作説明波形図である。

9……撮像素子、10……読出しパルス発生器、11……増幅回路、12……A/Dコンバータ、13……画像メモリ、14……D/Aコンバータ、15……切換スイッチ、17……画像メモリ駆動部、18……AGC検出回路、19……比較器、20……コントロール回路。

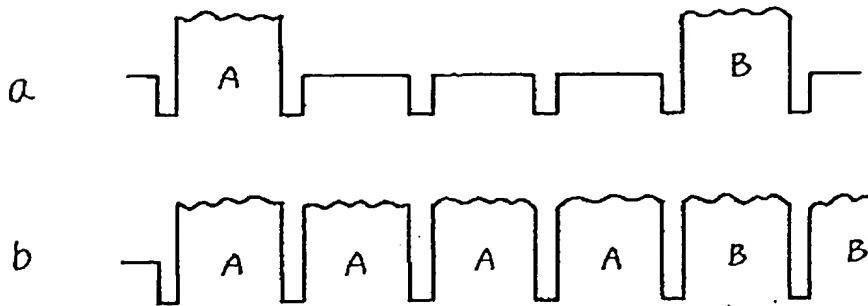
【第1図】



【第2図】



【第3図】



フロントページの続き

(72)発明者 小林 貴久生
神奈川県横浜市港北区綱島東4丁目3番1
号 松下通信工業株式会社内

(72)発明者 佐野 俊幸
神奈川県横浜市港北区綱島東4丁目3番1
号 松下通信工業株式会社内

(72)発明者 森下 忠之
神奈川県横浜市港北区榑町4丁目17番15号
セントラルエンジニアリング株式会社内

17. 撮像デバイス技術の展開

増幅型固体撮像素子

17-2

今 井 正 晴
オリンパス光学工業 半導体技術センター

1. まえがき

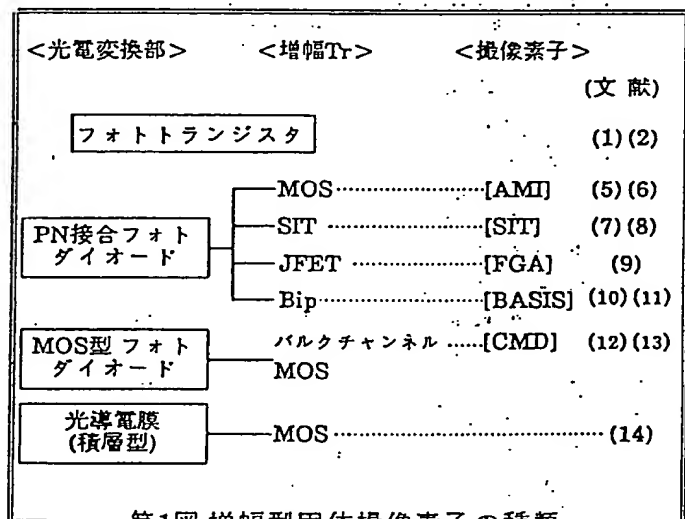
増幅型固体撮像素子は固体撮像素子の創成期に、フォトダイオードの代わりにフォトトランジスタを用い選択用MOSスイッチと対でマトリックス状に配列しエリアセンサーとする方式が試みられた経過がある⁽¹⁾⁽²⁾。しかしその後、低雑音で感度も有利なCCDが登場したために、殆ど顧みられなくなってしまった。ここ数年来、増幅型固体撮像素子の開発取組みがなされ、徐々に盛んになっている背景としては、CCDでは対応しにくい特殊仕様の撮像素子のニーズが現れてきている事が挙げられる。ハイビジョンカメラや高フレーム数カメラ向けの撮像素子はその代表例である⁽³⁾。一方で半導体微細加工技術の急速な発達により、増幅型固体撮像素子の最大課題である画素出力不均一性が、かなり小さく抑えられるようになってきた事が、大きな推進力となっていることも確かであろう。増幅型固体撮像素子の中でも、ここでは、増幅作用のない光電変換部と画素毎の増幅トランジスタの組合せによる増幅型固体撮像素子についてのみ触れる。光電変換部に増倍作用を持たせる方式は、魅力のある分野であるが、今のところ例が少なくこれからの開拓分野と思われる⁽⁴⁾。以下では増幅型固体撮像素子のうちでもエリアセンサーの開発事例について、素子概要、特徴点、及び課題について順次述べる。

2. 増幅型撮像素子の概観

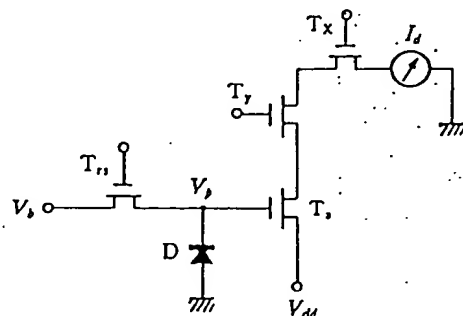
現在発表されている増幅型撮像素子を、光電変換部の種類と増幅トランジスタの種類とによって分類すると第1図のようになる。光電変換部は素子の映像特性に分光特性や開口率として効いてくるが、ここでは扱わない。以下では各撮像素子が光電変換部の信号情報をどのような動作原理で外部に取り出すかについて概要を説明する。

2.1 AMI (Amplified MOS Imager)

第2図に等価回路図を示す。あらかじめ逆バイアスした光電荷蓄積部に光入射により生成された電子が蓄積されると電位は低下する。画素選択によりスイッチ： T_Y, T_X がONすると、飽和動作状態にある増幅トランジスタのゲート電圧情報はソースフォロア動作で出力端子に電圧読出しされる。CCDの出力アンプ部の動作と基本的には同じで出力特性の線型性は良い。電圧 V_p が T_a の閾値電圧に近づくと T_a の基板効果とコンダクタンスが充分大きくないことが効いて出力の線型性が崩れる。即ち高照度ではKnee特性を示す。画素内に T_a, T_y, T_{rs} の3つのトランジスタを具えているため、画素寸法を極端に小さくするのは難しい。2/3インチ 25万画素の素子が開発されている。



第1図 増幅型固体撮像素子の種類



第2図 AMIの読み出し回路構成

3.1 ランダムノイズ

増幅型撮像素子のランダムノイズが小さいとの実験例がいくつか報告されている⁽⁶⁾。ランダムノイズの発生源のうち、CCDと異なるのは読み出し時の雑音、中でもリセットノイズであると思われる。CCDのリセットノイズは、リセットトランジスタによるMOSアンプのゲート電位設定のゆらぎに起因しており、数百 μV である。この電位ゆらぎはCDS法により数分の1に抑圧されるが、更に改善したCDS法も考案されており、次第に問題とならなくなってきている。ただしHDTVレベルの高速動作ではCDS法も万全ではなくなる。リセットノイズを抑圧したとしてもMOSアンプの熱雑音は残るが、MOSアンプの構造を埋めこみ型に変えて低雑音化を図ろうとの試みもある。

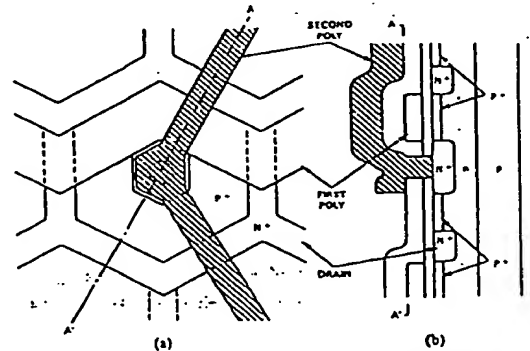
増幅型撮像素子の一例として、CMDとBASISのリセット動作および読み出し動作時の低雑音性について説明する。CMDのリセット動作では、光電荷(小数キャリア)を基板側へ完全に排出するため、残留電荷は無く、従ってリセット動作に伴う光電荷蓄積部の電位ゆらぎは起こらない。画素自身の発する熱雑音は残る。

BASISでは、ベース・エミッタ間のPN接合を強く順方向バイアスする二段階リセット法を用いることにより、リセット動作後のベース・エミッタ間電圧ゆらぎを小さく押さえている。BASISの回路構成を第8図に示す。リセット動作時のエミッタ電位のゆらぎはCCDと同様KTCノイズで決まり、雑音電圧は \sqrt{KTC} となる。Cは信号線容量で数pFと大きく、従って雑音電圧はCCDより約1桁小さく数十 μV となる。BASISの全ランダムノイズは55 μV に押さえられている⁽¹¹⁾。

以上示したように増幅型撮像素子においては、画素電位のリセットを低雑音で行うことができれば、それ以後の読み出し経路は低雑音であるためSN比は有利である。一方、増幅型撮像素子の暗電荷は、現在のところCCDと比べて小さいとは言えない(数 nA/cm^2)。実使用条件下(45°C)では暗電荷ショットノイズがランダムノイズの主要因になりうるため、まだ低減化が必要である。

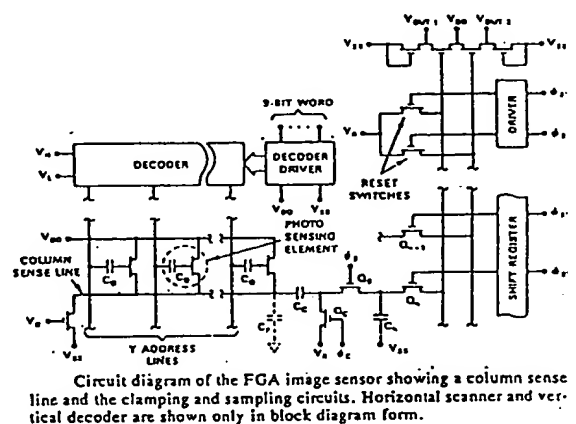
3.2 非破壊読み出し機能の利用

増幅型撮像素子は光電荷を増幅用トランジスタを介して読み出すため、リセット動作を行わない限り光電荷は保持される。微弱照度の静止画撮像時には利用価値がある。天体観察用や特殊用途で用いられる素子内長時間積分動作(時間 nT_0)と n 回の非破壊読み出し(周期 T_0)とを比較してみる。例えば1秒間積分の場合($n=33$)には、 n 回非破壊読み出しを行い信号加算を行う場合の方が約9dB SN比が改善される。但しこれはノイズの主要因が読み出し時ノイズである場合であって、光電荷や暗電荷ショットノイズが主要因である場合には改善効果はみられない。非破壊読み出し機能の応用分野として、画像処理用などにいくつか考えられそうである。



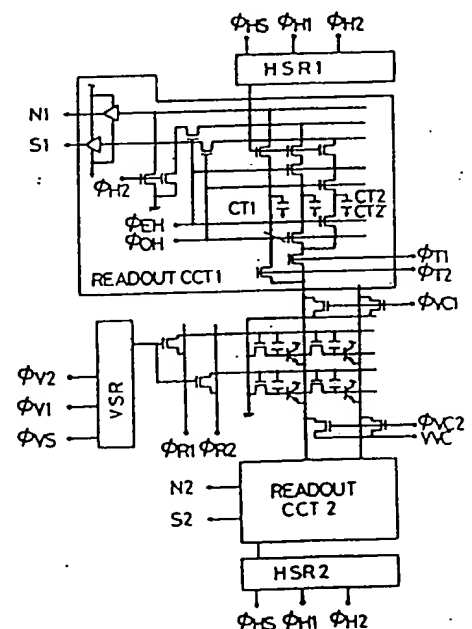
(a) Layout details of a single photosite of the FGA image sensor.
(b) Photosite cross section along the A-A' line showing the JFET structure and two polysilicon levels.

第6図 FGAの画素構造



Circuit diagram of the FGA image sensor showing a column sense line and the clamping and sampling circuits. Horizontal scanner and vertical decoder are shown only in block diagram form.

第7図 FGAの構成



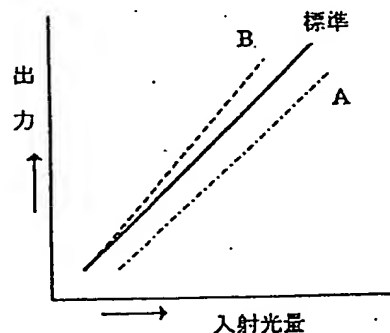
第8図 BASISの構成

3.3 高速撮像動作

増幅型撮像素子は信号線を増幅トランジスタで駆動しているため、高速動作によっても出力特性劣化が少ない。最近NHK技研でAMIを用いた6倍速カメラ(3線並列駆動2倍速走査)「アクション・アナライザー」として実用化されている。

4. 課 題

増幅型撮像素子がいくつかの特徴にも拘わらず、どれだけ実用化されていくかはやはり画質(=SN比)にかかっている。SN比を悪くする主要因は増幅型撮像素子の場合、画素出力不均一性(固定パターンノイズ:FPN)である。撮像素子によって異なるが、飽和出力に対しFPN(ピーク値)は40~60dB程度はある。第9図に示すようにFPNの成分として、入射光量に依らず出力オフセットとして扱える成分(第9図A)と入射光量の依存成分(B)とに分けられる。実際の素子ではオフセット成分がFPNの主要因であり、ほぼ、増幅トランジスタの閾値不均一性によって決まっている。FPN



第9図 FPNの実例

を外部メモリを使って抑圧する方法はしばしば用いられている。抑圧精度は良いが実用上難がある。FPN(成分A)抑圧回路を素子内に具えた開発例がFGAとBASISで報告されている⁽⁹⁾⁽¹¹⁾。FGA(第7図)はクランプ回路に似たC結合回路で信号出力電圧と信号読み出しリセット直後の画素出力電圧との差動をとっている。BASIS(第8図)では信号電圧とリセット後の画素出力を同一値の異なるコンデンサに保持し、バッファアンプを通して外部で差動をとっている。10~20dBの改善効果が期待できる。素子内FPN抑圧回路は、通常用途で増幅型撮像素子を実用化する上で欠かせない機能であろう。

5. む す び

増幅型撮像素子はFPNという課題を抱えながらも、そろそろ使える素子に育ってきた。増幅型撮像素子にどんな可能性があるのか明らかになるのは、むしろこれからであろうと思われる。固体撮像素子の一角を占めるべくいっそうの研究が期待される。

最後に、日頃御指導頂くNHK放送技術研究所の安藤主任研究員、藤田研究員、および当社半導体技術センター 洲脇部長、柳沢課長、研究部 遊佐課長、ならびに半導体技術センターの関係各位に深く感謝致します。

[参考文献]

- | | |
|---|--|
| [1] M.A.Schuster et al, IE3 Trans.ED-13, No.12, pp907, 1966 | [8] 溝口ほか、テレビ学技報, Vol.11, No.28, pp43, 1987 |
| [2] R.H.Dych et al, IE3 Trans.ED-15, No.4, pp196, 1968 | [9] J.Hyneceh, IE3 Trans.ED-35, No.5, pp646, 1988 |
| [3] 野口、Oplus E, No.115, pp87, 1989 | [10] N.Tanaka et al, ISSCC Digest, pp96, 1989 |
| [4] 孤淵ほか、テレビ学技報、Vol-11, No.28, pp61, 1987 | [11] N.Tanaka et al, IE3 Trans.ED-36, No.1, pp31, 1989 |
| [5] 安藤ほか、通信学会全国大会、No.1159, 1981 | [12] 中村ほか、TV学会全国大会 pp57, 1986 |
| [6] 安藤ほか、テレビ学技報、Vol.13, No.29, pp13, 1989 | [13] 中村ほか、テレビ誌, Vol.41, No.11, pp1047, 1987 |
| [7] A.Yusa et al, IE3 Trans.ED-33, No.6 pp735, 1986 | [14] 黄ほか、信学技報, ICD88-22, pp23, 1988 |